

- вперше науково обгрунтована та експериментально підтверджена можливість удосконалення технології виготовлення та ремонту високонавантажених деталей машин за рахунок застосування дискретного зміцнення робочих поверхонь деталей, виготовлених з чавуну та сталі, що забезпечує порівняно зі стандартними способами зміцнення високий рівень зносостійкості та втомної міцності з одночасним збільшенням задиростійкості та зменшенням зношувальної здатності;

- завдяки виконанню комплексу науково-дослідницьких робіт встановлено, що межа між зміцненим шаром та основним металом не є технологічним концентратором напружень і не знижує втомну міцність;

- розроблено новий підхід до аналізу напружено-деформованого стану зміцненого приповерхневого шару та виявлено 2 типи ефектів: „ Δ -ефект” – утворення виступу над номінальною поверхнею деталі в зоні дискретного зміцнення, – та „ σ -ефект” – міграція максимальних напружень у зону дискретного зміцнення. Внаслідок дії цих чинників покращуються характеристики міцності та зносостійкості оброблених поверхонь;

- результати проведених дослідницьких робіт і впровадження дискретного зміцнення в серійне виробництво дали можливість скоротити закупівлю імпортованих дорогих запасних частин до силових агрегатів і зменшити капітальні витрати на створення спеціалізованих ділянок для зміцнення деталей, а, отже, значно скоротити споживання енергоресурсів;

- використання результатів роботи забезпечило підвищення ресурсу роботи машин, механізмів і силових агрегатів мінімум на 40 %.

Економічний ефект від впровадження роботи складає не менше 450,0 млн. гривень за рік.

При подальших дослідженнях планується провести уточнення процесів і станів, що супроводжують дискретне зміцнення поверхонь деталей ДВЗ, оброблених із застосуванням запропонованої технології.

Список литературы. 1. Гончаров В.Г. Повышение износостойкости коленчатых валов форсированных дизелей большой мощности / В.Г. Гончаров, Э.К. Посвятенко, С.С. Дяченко // Резание и инструмент в технологических системах. – 2009. – Вып. 77. – С. 53–65. **2.** Гончаров В.Г. Повышение износостойкости трибосистем / В.Г. Гончаров, Б.В. Савченков // Автомобильный транспорт: Сб. научн. тр. Харьк. нац. авт.-дор. ун-та. – Х., 2003. – Вып.13. – С. 117–119. **3.** Гончаров В.Г. Исследование изменения характеристик трения по глубине дискретного слоя / В.Г. Гончаров, А.К. Олейник, Г.Г. Гринченко // 36. наук. пр. Запорізького нац. техніч. ун-ту. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2003. – С. 100–101. **4.** Влияние режимов дискретного упрочнения на эксплуатационные свойства деталей автомобилей / Б.В. Савченков, В.Г. Гончаров, Н.Г. Александров, А.Л. Самсоник // Автомобильный транспорт: Сб. научн. тр. Харьк. нац. авт.-дор. ун-та. – Х., 2005. – Вып.16. – С. 83–85. **5.** Гончаров В.Г. Підвищення ресурсу транспортної техніки удосконаленням технології ремонту колінчастих валів: Автореф. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / В.Г. Гончаров: Харківський національний автомобільно-дорожній ун-т. – Х., 2008. – 19 с.

Поступила в редакцію 10.10.09

УДК 623.746.8: 539.3

Н.Л. ИВАНИНА, инж.-констр., **В.И. ГОЛОВЧЕНКО**, вед. инж.-констр., канд. техн. наук, **Л.Е. ПОЛУТОН**, гл. конструктор, Головной специализированный конструкторско-технологический институт, ОАО «Азовмаш», г. Мариуполь

РАСЧЕТЫ ОСНОВНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЦИСТЕРН НЕКРУГОВОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

У статті виводяться формули для обчислення площі поперечного перетину порожнини цистерни, контур якого складений з довільної кількості дуг кола різного радіусу або з комбінації кругових дуг та відрізків прямих, її місткості, виконання розрахунку калібровки, а також для визначення координат центру маси рідини в цистерні при довільному рівні її заповнення. Як приклад наведені результати розрахунку для цистерни номінальної місткості 20,3 куб. м.

A derivation of formulas for calculation of tanks cavity cross-section area the contour of which is formed of arbitrary number of diverse radius circle arcs or of combination of circle arcs and straight segments, as well as ones for calculation of its volume, for performance of calibration calculation and for determining the liquid cargo of arbitrary level center mass are given in the paper. The results of calculations of 20,3 cubic meters capacity tank are cited as an example.

Введение. ОАО «Азовмаш» на протяжении многих лет является головным предприятием в Украине по выпуску техники для заправки самолетов и вертолетов топливом и средств для транспортировки авиационного топлива. Одним из основных видов изделий данной тематики являются автомобильные цистерны-топливозаправщики и топливотранспортные. К настоящему времени создано большое разнообразие таких цистерн. Основную их часть составляют цистерны большой вместимости – цистерны вместимостью более двадцати кубических метров.

Чаще всего автомобильная цистерна большой вместимости представляет собой полуприцеп для седельного тягача, т.е. цистерну несущего типа (рис. 1, а, б), и конструктивно выполняется в виде цилиндрической оболочки со ступенчато изменяющимся по длине поперечным сечением либо с коническим переходом от малого сечения (в передней части цистерны) к большому (в задней части). Если же цистерна монтируется на раме автомобильного шасси, ее поперечное сечение по длине не изменяется (рис. 1, в).

Общим же для всех типов

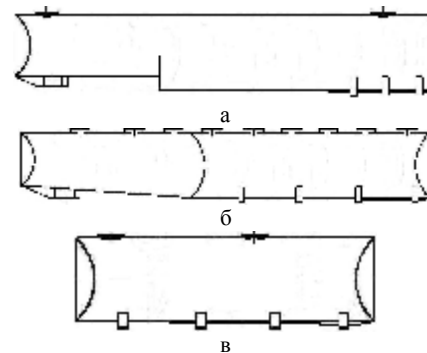


Рис. 1. Основные виды исполнений автомобильных цистерн большой вместимости: а, б – цистерна несущего типа; в – цистерна, устанавливаемая на шасси автомобиля

цистерн данного назначения является то, что форма их поперечного сечения является некруговой. Такая форма по сравнению с круговой позволяет более рационально использовать допустимую ширину дорожного габарита, благодаря чему высота и длина цистерны могут быть меньше, чем у цистерны такого же объема, но с круговой формой поперечного сечения. А это весьма важно для обеспечения необходимых показателей маневренности транспортного средства и его устойчивости от опрокидывания в поперечном направлении.

Обычно контур поперечного сечения цистерны большой вместимости образуется дугами окружностей различного радиуса, либо комбинацией круговых и прямолинейных участков (рис. 2). Основное требование при этом – плавное сопряжение смежных участков контура между собой.

Форма поперечного сечения цистерны может быть довольно сложной. Поэтому при проектировании цистерны представляет определенную сложность и выполнение расчетов по определению ее геометрических параметров: площади поперечного сечения полости цистерны, вместимости (объема полости цистерны), объема жидкости в цистерне в зависимости от уровня заполнения (расчет калибровки цистерны), положения центра массы жидкости. Сложность выполнения расчетов по определению вместимости цистерны и координат центра массы находящейся в ней жидкости значительно увеличивается вследствие того, что в большинстве случаев днища цистерн выполняются не плоскими. Преимущественно они выполняются в виде цилиндрических панелей с вертикальными образующими (см. рис. 1).

Вместимость такой цистерны можно определить с помощью тройных интегралов, но результат интегрирования не может быть представлен с помощью конечного числа элементарных функций, т.е. не может быть представлен в виде, пригодном для непосредственного вычисления. В [1] дан вывод формул для вычисления площади поперечного сечения, определения вместимости цистерны, выполнения расчета калибровки численными методами. По этим формулам в ОАО «ГСКТИ» были составлены программы для ЭВМ ЕС-1033 с целью автоматизации выполнения геометрических расчетов при проектировании цистерн. Такие ЭВМ уже не эксплуатируются. По формулам, выведенным в [1], может быть разработана, например, в среде Borland Delphi или Borland C++ Builder программа для автоматизированного выполнения этих расчетов на современном персональном компьютере. Но существующее в настоящее время программное обеспечение дает значительно больше, чем ранее, возможности для выполнения вычислений по формулам весьма общего вида, в частности, для вычисления кратных и неберущихся интегралов. Поэтому приводимые в настоящей статье формулы и математические выражения даются в виде, пригодном для непосредственных вычислений с помощью, например, системы компьютерной математики Mathcad [2].

1. Определение вместимости цистерны. Опыт выполнения данных расчетов показал, что для определения вышеперечисленных геометрических параметров

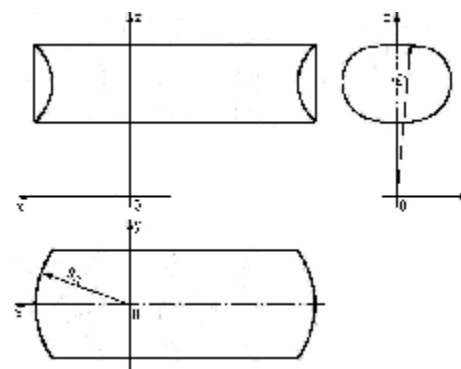


Рис. 3. Система координат для выполнения расчетов геометрических параметров цистерны

цистерны представляется удобным начало системы координат принимать на пересечении осей, на которых лежат центры кривизны верхней части обечайки (ось Ox) и переднего днища цистерны (ось Oz , рис. 3). Естественно, радиусы дуг, составляющих контур поперечного сечения цистерны, принимаются по ее внутренней поверхности.

Вначале определяется площадь поперечного сечения полости цистерны в ее цилиндрической (средней) части.

Для этого по заданным вертикальному и горизонтальному габаритным размерам поперечного сечения, величинам радиусов дуг участков строится внутренний контур сечения, определяются точки сопряжения его участков и вычисляются координаты этих точек и координаты центров дуг каждого криволинейного участка. Площадь, ограниченная построенным контуром, представляет собой площадь поперечного сечения полости цистерны в цилиндрической части. Для дальнейших вычислений эта площадь разбивается на горизонтальные слои между точками сопряжения участков (рис. 4). Наличие у сечения вертикальной оси симметрии позволяет для вывода расчетных формул ограничиться рассмотрением только одной его половины.

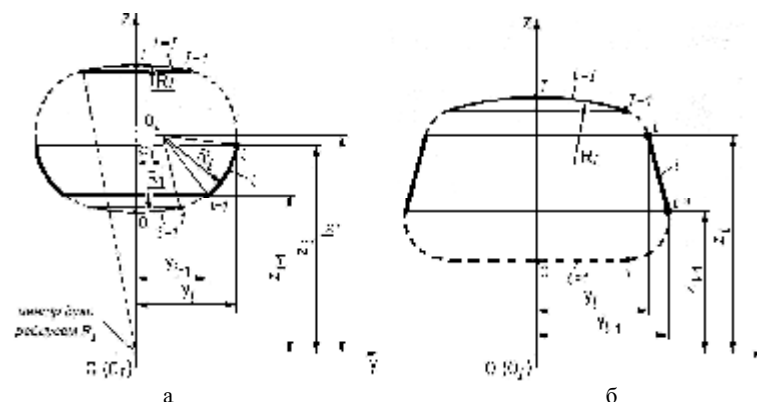


Рис. 4. Разбиение поперечного сечения полости цистерны на слои:

а – слой, ограниченный дугами окружности; б – слой, ограниченный прямолинейными участками контура

Слой с номером i ($i = 1, 2, 3, \dots, I$) характеризуется следующими параметрами: радиусом R_i , координатами центра дуги O_i (a_i, b_i), координатами концов дуги $i-1$ (y_{i-1}, z_{i-1}) и i (y_i, z_i) (для криволинейного участка) или координатами концов участка $i-1$ (y_{i-1}, z_{i-1}) и i (y_i, z_i) (для прямолинейного участка). Уравнение дуги между точками $i-1$ и i имеет вид: $(y - a_i)^2 + (z - b_i)^2 = R_i^2$ или $y = a_i + \sqrt{R_i^2 - (z - b_i)^2}$; уравнение отрезка между точками $i-1$ и i – $y = \frac{y_i - y_{i-1}}{z_i - z_{i-1}} \cdot z + \frac{y_{i-1} \cdot z_i - y_i \cdot z_{i-1}}{z_i - z_{i-1}}$. Площадь слоя определяется путем вычисления двойного интеграла соответственно

$$F_i = 2 \cdot \int_{z_{i-1}}^{z_i} dz \int_0^{a_i + \sqrt{R_i^2 - (z - b_i)^2}} dy, \quad i = 1, 2, 3, \dots, I \quad (1)$$

(если контур участка ограничен дугой окружности) или, если контур участка ограничен отрезком прямой –

$$F_i = 2 \cdot \int_{z_{i-1}}^{z_i} dz \int_0^{kz+c} dy, \quad i = 1, 2, 3, \dots, I,$$

$$\text{где } k = \frac{y_i - y_{i-1}}{z_i - z_{i-1}}, \quad c = \frac{y_{i-1} \cdot z_i - y_i \cdot z_{i-1}}{z_i - z_{i-1}}.$$

Эти интегралы могут быть взяты непосредственно. Результат имеет вид соответственно [1]

$$F_i = 2a_i(z_i - z_{i-1}) + (z_i - b_i) \cdot \sqrt{R_i^2 - (z_i - b_i)^2} - (z_{i-1} - b_i) \cdot \sqrt{R_i^2 - (z_{i-1} - b_i)^2} - R_i^2 \arcsin \frac{b_i - z_i}{R_i} + R_i^2 \arcsin \frac{b_i - z_{i-1}}{R_i}$$

или

$$F_i = k \cdot (z_i^2 - z_{i-1}^2) + 2c(z_i - z_{i-1}) = \frac{y_i - y_{i-1}}{z_i - z_{i-1}} \cdot (z_i^2 - z_{i-1}^2) + 2 \cdot (y_{i-1} \cdot z_i - y_i \cdot z_{i-1})$$

Площадь поперечного сечения полости цистерны равна сумме площадей слоев

$$F = \sum_{i=1}^I F_i. \quad (2)$$

Вместимость цистерны,

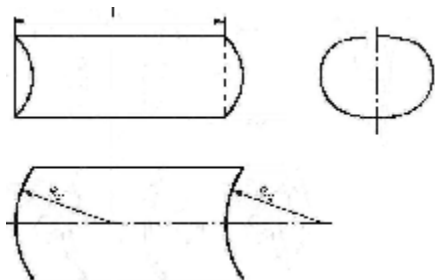


Рис. 5. Отсек цистерны с выпуклыми в одну сторону днищами

имеющей плоские днища, определяется непосредственно:

$$V = F \cdot L, \quad (3)$$

где L – расстояние между днищами.

По этой же формуле определяется и вместимость отсека цистерны с выпуклыми в одну сторону днищами (рис. 5). Если же днища цистерны неплоские, для определения вместимости цистерна условно делится вертикальными плоскостями на части: среднюю (цилиндрическую) и концевые (рис. 6). В

случае днища в виде цилиндрической панели длина концевой части равна

$$L_k = R_d - \sqrt{R_d^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2};$$

длина средней части –

$$L_c = L - L_{k1} - L_{k2}.$$

Вместимость средней части может быть вычислена по формуле (3). Для определения вместимостей концевых

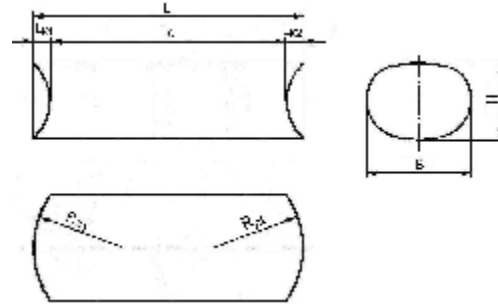
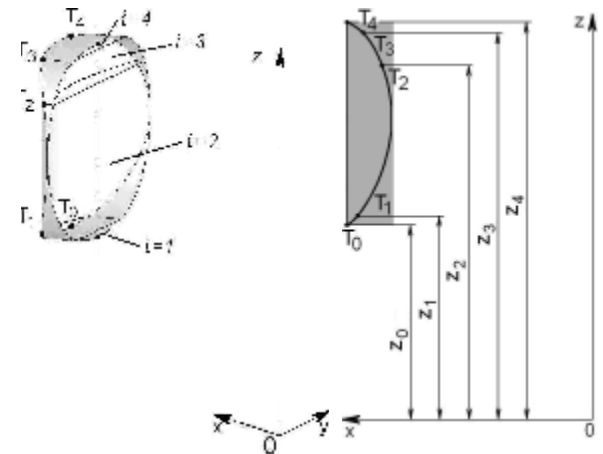
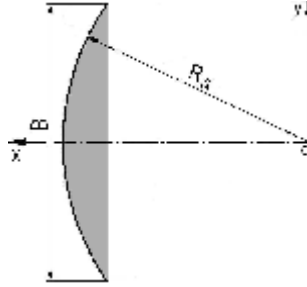


Рис. 6. Разбиение цистерны на части по длине



частей они разбиваются на слои горизонтальными плоскостями, проходящими через точки сопряжения элементов (дуг и отрезков) контура поперечного сечения цистерны (рис. 7).

Рис. 7. Пример разбиения концевой части цистерны на слои



Вместимость концевой части определяется как сумма объемов слоев производится с помощью тройных интегралов. Пределы интегрирования для переменных y и z остаются теми же, которые использовались для определения площадей F_i . Область интегрирования по переменной x ограничена поперечной плоскостью, отделяющей концевую часть цистерны от средней части, и внутренней поверхностью днища. В принятой системе координат пределы изменения переменной x записываются следующим образом: нижний предел $x_n = R_d - L_k$, верхний предел $x = \sqrt{R_d^2 - y^2}$.

Интеграл для определения объема i -го слоя концевой части цистерны имеет вид

$$V_{\text{к слой } i} = 2 \cdot \int_{z_{i-1}}^{z_i} dz \int_0^{a_i + \sqrt{R_i^2 - (z-b_i)^2}} dy \int_{\sqrt{R_d^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2}}^{\sqrt{R_d^2 - y^2}} dx, \quad i = 1, 2, 3, \dots, I, \quad (4)$$

или

$$V_{\text{к слой } i} = 2 \cdot \int_{z_{i-1}}^{z_i} dz \int_0^{kz+c} dy \int_{\sqrt{R_d^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2}}^{\sqrt{R_d^2 - y^2}} dx, \quad i = 1, 2, 3, \dots, I.$$

Он не может быть взят с помощью конечного числа элементарных функций, для его вычисления используется система компьютерной математики Mathcad.

Очевидно, вместимость концевой части цистерны равна сумме объемов ее слоев $V_k = \sum_{i=1}^I V_{\text{к слой } i}$, а вместимость цистерны – сумме вместимостей средней и концевых частей: $V_u = V_c + V_{k1} + V_{k2}$.

2. Калибровка цистерны. Для выполнения расчета калибровки (определения объема жидкости в цистерне в зависимости от уровня заполнения) используется уже применявшееся разбиение цистерны на части по длине и на слои по высоте. Начиная с самого нижнего слоя производится определение

объема жидкости в цистерне $V^*(h)$ в зависимости от его уровня h ($h = z - z_0$) при изменении вертикальной координаты с определенным шагом. Укрупненно алгоритм выполнения данной процедуры может быть представлен в виде:

$$V^*(h) = V(z_0 + h) = F(z) \cdot L_c + V_{k1}(z) + V_{k2}(z),$$

где $F(z)$ – площадь поперечного сечения заполненной части полости цистерны при уровне свободной поверхности жидкости z ; $V_{k1}(z)$, $V_{k2}(z)$ – объемы жидкости в концевых частях цистерны при уровне свободной поверхности жидкости z ($z = z_0 + h$).

Если контур поперечного сечения цистерны составлен только из дуг различного радиуса и не содержит прямых участков (как, например, изображенный на рисунке 4а), величины $F(z)$ и $V_k(z)$ определяются по формулам

$$F(z) = 2\Phi(z - z_1) \sum_{i=1}^N \int_{z_{i-1}}^{z_i} dz \int_0^{a_i + \sqrt{R_i^2 - (z-b_i)^2}} dy - 2 \int_{z_N}^z dz \int_0^{a_{N+1} + \sqrt{R_{N+1}^2 - (z-b_{N+1})^2}} dy;$$

$$V_k(z) = 2\Phi(z - z_1) \sum_{i=1}^N \int_{z_{i-1}}^{z_i} dz \int_0^{a_i + \sqrt{R_i^2 - (z-b_i)^2}} \frac{\sqrt{R_i^2 - y^2}}{\sqrt{R_d^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2}} dx + \int_{z_N}^z dz \int_0^{a_{N+1} + \sqrt{R_{N+1}^2 - (z-b_{N+1})^2}} \frac{\sqrt{R_{N+1}^2 - y^2}}{\sqrt{R_d^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2}} dx,$$

где N – число полностью заполненных жидкостью слоев; $\Phi(z - z_1)$ – функция, определяемая следующим образом:

$$\Phi(z - z_1) = \begin{cases} 1 & \text{при } z - z_1 \geq 0; \\ 0 & \text{при } z - z_1 < 0. \end{cases}$$

В общем же случае, когда контур поперечного сечения цистерны составлен комбинацией дуг различного радиуса и прямых участков, формулы для определения величин $F(z)$ и $V_k(z)$ имеют вид:

$$F(z) = 2\Phi(z - z_1) \sum_{i=1}^N f_{Ni}(z) + 2f_n(z), \quad V_k(z) = 2\Phi(z - z_1) \sum_{i=1}^N v_{Ni}(z) + 2v_n(z),$$

где $f_{Ni}(z)$, $f_n(z)$ – площади соответственно полностью (индекс «N») и не полностью заполненных слоев («n»), ограниченных дугой или отрезком прямой;

$$f_{Ni}(z) = \begin{cases} \int_{z_{i-1}}^{z_i} dz \int_0^{a_i + \sqrt{R_i^2 - (z-b_i)^2}} dy \\ \int_{z_{i-1}}^{z_i} dz \int_0^{kz+c} dy \end{cases}, \quad f_n(z) = \begin{cases} \int_{z_N}^z dz \int_0^{a_{N+1} + \sqrt{R_{N+1}^2 - (z-b_{N+1})^2}} dy \\ \int_{z_N}^z dz \int_0^{kz+c} dy \end{cases},$$

$v_{Ni}(z)$, $v_n(z)$ – объемы этих слоев,

$$V_{Ni}(z) = \begin{cases} \int_{z_{i-1}}^{z_i} dz \int_0^{a_i + \sqrt{R_i^2 - (z-b_i)^2}} dy \int_{\sqrt{R_i^2 - y^2}}^{\sqrt{R_i^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2}} dx, \\ \int_{z_{i-1}}^{z_i} dz \int_0^{kz+c} dy \int_{\sqrt{R_i^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2}}^{\sqrt{R_i^2 - y^2}} dx; \end{cases} \quad V_n(z) = \begin{cases} \int_{z_N}^z dz \int_0^{a_{N+1} + \sqrt{R_{N+1}^2 - (z-b_{N+1})^2}} dy \int_{\sqrt{R_{N+1}^2 - y^2}}^{\sqrt{R_{N+1}^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2}} dx, \\ \int_{z_N}^z dz \int_0^{kz+c} dy \int_{\sqrt{R_{N+1}^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2}}^{\sqrt{R_{N+1}^2 - y^2}} dx. \end{cases}$$

По результатам вычислений составляется таблица или график зависимости объема жидкости в цистерне от занимаемого ею уровня.

3. Определение положения центра массы жидкости в цистерне. Высота центра массы жидкости в цистерне при некотором значении уровня свободной поверхности жидкости h ($h = z - z_0$) определяется по формуле

$$z_{ц.м.}^*(h) = z_{ц.м.}(z_0 + h) = \frac{V_{\kappa 1}(z) \cdot z_{\kappa 1}(z) + V_c(z) \cdot z_c(z) + V_{\kappa 2}(z) \cdot z_{\kappa 2}(z)}{V_{\kappa 1}(z) + V_c(z) + V_{\kappa 2}(z)},$$

где $V_{\kappa 1}(z)$, $V_{\kappa 2}(z)$, $V_c(z)$ – объемы жидкости в концевых («κ») и средней («с») частях цистерны при координате свободной поверхности жидкости z ($z = z_0 + h$); $z_{\kappa 1}(z)$, $z_{\kappa 2}(z)$, $z_c(z)$ – высоты центров масс жидкости в концевых и средней частях цистерны при координате свободной поверхности жидкости z .

Объем жидкости в средней части цистерны равен $V_c^*(h) = F(z_0 + h) \cdot L_c$.

Высота центра массы жидкости в средней части цистерны $z_c(z)$ и в концевой части цистерны $z_{\kappa}(z)$ определяется соответственно по формулам

$$z_c(z) = \frac{\sum_{i=1}^n F_i(z) \cdot L_c \cdot z_{c, \text{слой } i}(z)}{\sum_{i=1}^n F_i(z) \cdot L_c}, \quad z_{\kappa}(z) = \frac{\sum_{i=1}^n V_{\kappa, \text{слой } i}(z) \cdot z_{\kappa, \text{слой } i}(z)}{\sum_{i=1}^n V_{\kappa, \text{слой } i}(z)},$$

где $z_{c, \text{слой } i}(z)$, $z_{\kappa, \text{слой } i}(z)$ – высота центра массы i -го слоя жидкости в средней части цистерны (индекс «с») и в концевой части цистерны («κ»); n – число заполненных жидкостью слоев.

Высота центра массы i -го слоя жидкости в средней части цистерны [3] –

$$z_{c, \text{слой } i}(z) = \begin{cases} \frac{1}{F_i(z)} \cdot 2 \int_{z_{i-1}}^z dz \int_0^{a_i + \sqrt{R_i^2 - (z-b_i)^2}} dy \int_{\sqrt{R_i^2 - y^2}}^{\sqrt{R_i^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2}} x dx, \\ \frac{1}{F_i(z)} \cdot 2 \int_{z_{i-1}}^z dz \int_0^{kz+c} dy \int_{\sqrt{R_i^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2}}^{\sqrt{R_i^2 - y^2}} x dx, \end{cases} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (5)$$

Высота центра массы i -го слоя жидкости в концевой части цистерны

$$z_{\kappa, \text{слой } i}(z) = \begin{cases} \frac{1}{V_{\kappa, \text{слой } i}(z)} \cdot 2 \int_{z_{i-1}}^z dz \int_0^{a_i + \sqrt{R_i^2 - (z-b_i)^2}} dy \int_{\sqrt{R_i^2 - y^2}}^{\sqrt{R_i^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2}} x dx, \\ \frac{1}{V_{\kappa, \text{слой } i}(z)} \cdot 2 \int_{z_{i-1}}^z dz \int_0^{kz+c} dy \int_{\sqrt{R_i^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2}}^{\sqrt{R_i^2 - y^2}} x dx, \end{cases} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (6)$$

Если цистерна имеет постоянное по длине поперечное сечение и одинаковые по конфигурации и размерам переднее и заднее днища, никакие вычисления для определения положения центра массы жидкости в продольном направлении не требуются, так как очевидно, что центр массы жидкости находится посередине длины цистерны. В случаях, когда поперечное сечение цистерны изменяется по ее длине ступенчато, т.е. когда цистерна состоит из секций подобно показанной на рис. 1, а сверху, определение продольной координаты центра массы для жидкости в средней части секции цистерны так же просто: она находится на середине ее длины. Сложность представляет лишь определение координаты центра массы жидкости в концевых частях цистерны:

$$x_{\kappa}(z) = \sum_{i=1}^n V_{\kappa, \text{слой } i}(z) \cdot x_{\kappa, \text{слой } i}(z) / \sum_{i=1}^n V_{\kappa, \text{слой } i}(z), \quad (7)$$

где $x_{\kappa, \text{слой } i}(z)$ – продольная координата центра массы i -го слоя жидкости в концевой части цистерны при уровне свободной поверхности жидкости z ($z = z_0 + h$),

$$x_{\kappa, \text{слой } i}(z) = \begin{cases} \frac{1}{V_{\kappa, \text{слой } i}(z)} \cdot 2 \int_{z_{i-1}}^z dz \int_0^{a_i + \sqrt{R_i^2 - (z-b_i)^2}} dy \int_{\sqrt{R_i^2 - y^2}}^{\sqrt{R_i^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2}} x dx, \\ \frac{1}{V_{\kappa, \text{слой } i}(z)} \cdot 2 \int_{z_{i-1}}^z dz \int_0^{kz+c} dy \int_{\sqrt{R_i^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2}}^{\sqrt{R_i^2 - y^2}} x dx, \end{cases} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (8)$$

Как видно, по структуре эти формулы аналогичны соответствующим формулам для определения положения центра массы жидкости по высоте.

В случаях, когда поперечное сечение цистерны изменяется по ее длине ступенчато (см. рис. 1, а), расчеты выполняются отдельно для каждой секции, а полученные результаты затем используются для получения решения по цистерне в целом. Если же поперечное сечение цистерны на некотором участке длины изменяется непрерывно (см. рис. 1, б), результат можно получить с помощью компьютерного моделирования, например, с помощью системы Solid Works.

В силу симметрии поперечного сечения цистерны относительно вертикальной оси поперечная координата центра массы жидкости равна нулю.

4. Пример выполнения расчета геометрических параметров цистерны некругового поперечного сечения. В качестве примера приводим результаты расчета автомобильной цистерны номинальной вместимостью $20,3 \text{ м}^3$. Общий вид цистерны изображен на рис. 8.

В табл. 1 приведены основные данные для построения контура поперечного сечения полости средней (цилиндрической) части цистерны: величины радиусов дуг, составляющих контур, центральных углов этих дуг, координаты центров дуг, координаты начала и конца дуг. Эскиз контура поперечного сечения полости цистерны изображен на рис. 9. На этом же рисунке показано разбиение поперечного сечения полости цистерны по высоте на слои.

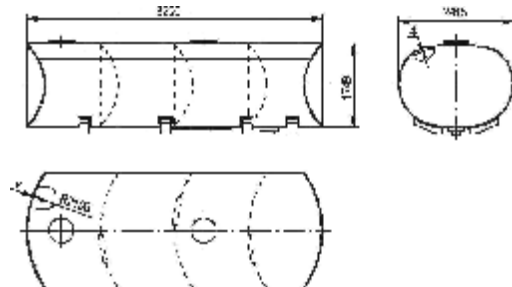


Рис. 8. Общий вид цистерны номинальной вместимостью $20,3 \text{ м}^3$

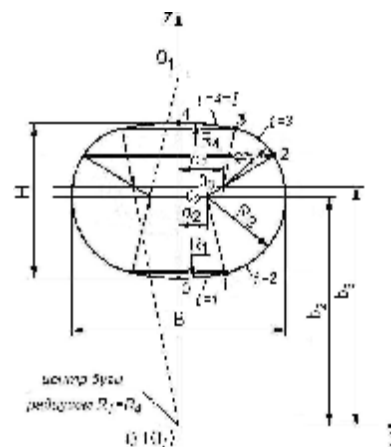


Рис. 9. Контур поперечного сечения полости средней (цилиндрической) части цистерны и разбиение поперечного сечения на слои

Поскольку поперечное сечение обечайки цистерны по ее длине постоянно, а радиусы кривизны днщ одинаковы, длины концевых частей полости цистерны также одинаковы. Их величины равны

$$L_k = R_d - \sqrt{R_d^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2} = 379 \text{ мм};$$

длина средней части полости цистерны $- L_c = L - 2L_k = 5434 \text{ мм}$, а ее вместимость $- V_c = F \cdot L_c = 18,943 \text{ м}^3$.

Геометрическая вместимость цистерны

$$V_z = V_c + 2V_k + V_{жсл} + 2V_l - V_g = 20,94 \text{ м}^3, \text{ где } V_{жсл} = 0,030 \text{ м}^3 -$$

объем желоба в нижней части цистерны; $V_l = 0,014 \text{ м}^3$ – объем люка, $V_g = 0,040 \text{ м}^3$ – объем элементов цистерны, находящихся в ее полости. Номинальная вместимость цистерны принята равной $20,3 \text{ м}^3$.

Таблица 1
Основные геометрические данные контура поперечного сечения полости цистерны (мм, округлено до первого десятичного знака)

Номер дуги i	Радиус R_i	Центральный угол α_i	Центр дуги		Начало дуги		Конец дуги	
			a_i	b_i	y_{i-1}	z_{i-1}	y_i	z_i
1	2315	$130^\circ 19'$	0	3983,9	0	1668,8	521,5	1728,4
2	880	$108^\circ 58' 41''$	323,2	2585,7	521,5	1728,4	1069,5	3052,1
3	660	$47^\circ 19'$	509,8	2702,3	1069,5	3052,1	632,2	3350,9
4	3410	$10^\circ 41'$	0	0	632,2	3350,9	0	3410,0

Вычисленные по данным табл. 1 по формулам (1) и (2) величины площадей слоев поперечного сечения и площади всего сечения приведены в табл. 2.

Таблица 2
Площади слоев и площадь поперечного сечения полости цистерны

Номер слоя	1	2	3	4
Площадь слоя, м^2	0,0415	2,8467	0,5480	0,0499
Площадь поперечного сечения полости цистерны, м^2	3,486			

Величины объемов слоев концевой части, вычисленные по формуле (4), а также величина вместимости концевой части в целом приведены в табл. 3.

Таблица 3
Объемы слоев и вместимость концевой части полости цистерны

Номер слоя	1	2	3	4
Объем слоя, м^3	0,0152	0,7884	0,1681	0,0179
Вместимость концевой части полости цистерны, м^3	0,990			

Результаты расчета калибровки цистерны представляем в виде таблица (табл. 4), в которой даны значения объема топлива в цистерне в зависимости от занимаемого им уровня с интервалом 50 мм.

Таблица 4

Таблица калибровки цистерны

h, мм	V*(h), м³	h, мм	V*(h), м³	h, мм	V*(h), м³	h, мм	V*(h), м³
0	0,030	500	5,055	1000	12,042	1500	18,738
50	0,228	550	5,719	1050	12,753	1550	19,311
100	0,580	600	6,395	1100	13,459	1600	19,848
150	1,010	650	7,082	1150	14,160	1646	20,300
200	1,494	700	7,778	1200	14,853	1650	20,334
250	2,018	750	8,450	1250	15,506	1700	20,734
300	2,577	800	9,189	1300	16,210	1741	20,912
350	3,164	850	9,901	1350	16,869	-	-
400	3,775	900	10,614	1400	17,512	-	-
450	4,406	950	11,329	1450	18,137	-	-

Как видно из таблицы, номинальному объему топлива $20,3 \text{ м}^3$ соответствует его уровень $h_{\text{ном}} = 1646 \text{ мм}$. Координата уровня топлива в принятой системе координат составляет $z = z_0 + h = 3315 \text{ мм}$. Из табл. 1 следует, что при этом объеме топлива слои, на которые условно делится поперечное сечение полости цистерны (см. рис. 9), заполнены следующим образом: слои 1 и 2 заполнены полностью, слой 3 заполнен частично, слой 4 (последний, верхний) не заполнен. В соответствии с этим при определении положения центра массы топлива в формулах (5) и (6) принимается $N = 2$.

Координаты центров масс топлива, находящегося в средней (цилиндрической) и концевой части цистерны при объеме $20,3 \text{ м}^3$, приведены в табл. 5. Хотя для цистерны рассматриваемой конфигурации вычисления для определения положения центра массы топлива в продольном направлении не требуются (он находится посередине длины цистерны), в табл. 5 приведены также и координаты x центров массы топлива в концевой части цистерны, вычисленные по формулам (7) и (8). Приведенные в табл. 5 координаты даны в общей системе координат, начало которой находится на пересечении осей, на которых лежат центры кривизны верхней части обечайки цистерны (ось Ox) и переднего днища (ось Oz , рис. 3). Более удобно для восприятия вертикальную координату отсчитывать от нижней образующей внутренней поверхности обечайки, а продольную – от вершины внутренней поверхности переднего днища (рис. 10). Координаты центра массы топлива в этой системе координат равны $Z = z_{\text{ц.м.}} - z_0 = 860 \text{ мм}$, $X = R_d - x_{\text{ц.м.}} = 3098 \text{ мм}$.

Таблица 5

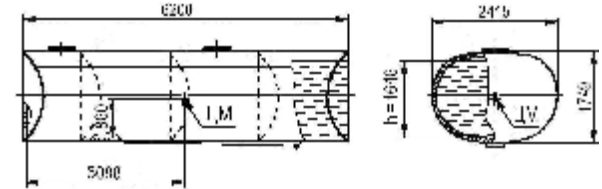
Координаты центров масс топлива в цистерне при номинальном объеме $20,3 \text{ м}^3$
(в общей системе координат согласно рис. 3)

Номер	Степень	Средняя (цилиндриче-	Концевая часть цистерны
-------	---------	----------------------	-------------------------

слоя i	заполнения	сая) часть цистерны		(переднее днище)		
		Объем, м³	z , мм	Объем, м³	z , мм	x , мм
1	полное	0,228	1705	0,015	1704	1904
2	полное	15,471	2431	0,788	2410	1877
3	частичное	2,701	3177	0,152	3180	1881
4	не заполнен	-	-	-	-	-
Цистерна в целом *	частичное	18,400	2532	0,955	2521	1878
		$V = 20,3 \text{ м}^3$, $z = 2529 \text{ мм}$, $x = -998 \text{ мм}$				

* координаты даны с учетом объема топлива в желобе ($0,030 \text{ м}^3$, $z = 1642 \text{ мм}$, $x = 2048 \text{ мм}$)

Рис. 10. Положение центра массы топлива в цистерне топливозаправщика с номинальной вместимостью $20,3 \text{ м}^3$



Список литературы: 1. Головченко В.И., Клименко П.Д., Понедельченко Е.П. Проектирование автомобильных цистерн большой вместимости. Расчеты геометрических параметров // Конструкторско-технологические исследования в области создания металлургического, подъемно-транспортного оборудования и цистерностроения: Тем. сб. научн. тр. – Краматорск: НИИПТмаш, 1985. – С.107-117. 2. Дьяконов В.П. MATHCAD 8/2000: специальный справочник. – СПб: Питер, 2001. – 592 с. 3. Каплан И.А. Практические занятия по высшей математике. Часть IV. Кратные и криволинейные интегралы. – Изд. 3-е, стереотип. – Харьков: Изд-во ХГУ, 1972 – 236 с.

Поступила в редакцию 08.09.09

УДК 531.539.3.62.752(031)

Е.М. ИВАНОВ, канд. техн. наук, доц.,

доцент каф. «Инженерная графика» Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет «ХАДИ», г. Харьков

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ С РЕАКТИВНЫМИ МАССАМИ

В роботі показано, що при перемиканні частот силової дії у коливальній системі виникають перехідні процеси. Відмічено вплив амплітудно-частотної характеристики на перехідний процес та показано вплив частоти вхідної дії на перехідний процес у коливальній системі.

In the paper the modified and simplified method of determining the parameters of oscillating systems in terms of the resonance method of identifying the oscillating system parameters, based on measuring resonance frequencies of the oscillating system is proposed.

Колебательная система (КС) с двумя степе-

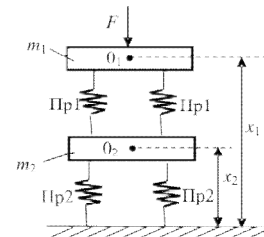


Рис. 1